

基于IVA-CPT与任务态前额叶脑电的6岁儿童ADHD筛查的多模态数据采集及常模建立

蔡晨

杭州市临平区妇幼保健院 浙江 杭州 311199

摘要: 注意缺陷多动障碍 (ADHD) 是6岁儿童中常见的神经发育障碍, 传统单模态评估存在主观性强、客观指标不足等问题。本文基于IVA-CPT与任务态前额叶EEG多模态数据, 系统采集了110例6岁儿童的17项行为学与电生理指标, 建立了多维度筛查常模。研究表明, IVA-CPT的注意力商数及前额叶 θ/β 功率比等指标具有良好的鉴别效度。本文构建的多模态常模可为6岁儿童ADHD早期筛查提供客观量化依据。

关键词: IVA-CPT; 前额叶脑电; ADHD; 6岁儿童; 多模态数据; 常模建立

引言: ADHD在学龄前儿童中发病率约为5%-7%, 6岁正处于早期干预的关键窗口期。然而, 传统诊断依赖临床访谈和行为量表, 主观性强, 缺乏客观神经生理标记。IVA-CPT可评估儿童的持续注意和冲动控制能力, 而任务态前额叶EEG能反映执行功能相关的皮层激活模式, 两者结合有望提升筛查准确性。然而, 目前缺乏针对6岁中国儿童的多模态数据常模。本文旨在采集6岁儿童IVA-CPT与任务态EEG数据, 建立初步筛查常模, 为ADHD早期识别提供多维度客观指标。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

纳入2023年6月至2025年3月在我院儿童保健科评估的6岁儿童。纳入标准: (1) 年龄 6 ± 3 个月; (2) 无严重躯体、神经及精神疾病史; (3) $IQ \geq 70$; (4) 无听力障碍; (5) 测试前24h未服影响注意力的药物。排除标准: (1) 有其他神经发育障碍; (2) 有癫痫或脑外伤史; (3) 无法配合测试。共纳入110例, 男62例, 女48例, 年龄 6.02 ± 0.18 岁。家长签署知情同意书, 研究经伦理批准。样本量经 $G*Power$ 计算, 最小需64例, 本研究110例满足要求^[1]。

1.2 IVA-CPT测试方法

IVA-CPT为计算机化测试, 耗时15-20min。要求儿童对目标刺激 (数字“1”) 尽快点击反应, 对非目标刺激 (数字“2”) 抑制反应。含听觉和视觉两种模态 (2:1随机)。系统生成17项商数: MNA、MNV、RVAC、RFRA/RFRV、STMA/STMV、CONA/CONV、FOCA/FOCV、PRA/PRV、VIA/VIV、CMPA/CMPV。测试在安静房间内由培训师完成。

1.3 任务态前额叶脑电采集

采用32通道EEG系统, 重点前额叶 (Fp1、Fp2、F3、F4、Fz)。参考双侧乳突, 采样率500Hz, 阻抗 $< 5k\Omega$ 。采用视觉oddball范式: 标准刺激 (圆形, 80%), 偏差刺激 (正五边形, 20%)。刺激200ms, 间隔1000-1500ms, 共200次。要求被试默数偏差刺激。预处理: 去除眼电肌电伪迹、0.5-45Hz滤波、基线校正。提取P300波幅和潜伏期, 计算 θ/β 功率比。

1.4 数据分析与常模构建

采用SPSS和MATLAB进行描述统计, 计算均值、标准差、百分位数。K-S检验正态性: 正态指标以均值 $\pm 1.96SD$ 为常模范围, 偏态指标以百分位数表示。 t 检验性别差异, Pearson相关分析指标关联。以Conners评定量表为校标, ROC确定筛查阈值。主成分分析提取因子, 构建多模态常模维度结构。

2 IVA-CPT 数据采集结果与常模

2.1 IVA-CPT各商数描述性统计

110例6岁儿童IVA-CPT测试结果显示: 听觉速度商数 (MNA) 平均值为 1072.8 ± 98.3 , 视觉速度商数 (MNV) 平均值为 832.5 ± 102.7 , 平衡商数 (RVAC) 平均值为 77.4 ± 10.2 。听觉注意力商数 (FOCA) 平均值为 72.6 ± 9.8 , 视觉注意力商数 (FOCV) 平均值为 66.3 ± 8.5 。听觉一致性 (CONA) 为 71.8 ± 11.5 , 视觉一致性 (CONV) 为 64.2 ± 12.3 。听觉谨慎 (PRA) 为 77.3 ± 10.6 , 视觉谨慎 (PRV) 为 81.7 ± 9.4 。听觉警醒 (VIA) 为 58.2 ± 20.1 , 视觉警醒 (VIV) 为 62.5 ± 19.6 。正态性检验显示, VIA、VIV呈偏态分布, 其余指标近似正态分布。各商数的详细统计结果及正常参考范围见表1。

2.2 性别差异分析

独立样本 t 检验结果显示, 女童在听觉注意力商数

(FOCA)上显著高于男童(74.2±9.1 vs 71.0±10.2, $P < 0.05$),在视觉一致性(CONV)上也表现更好(67.1±11.5 vs 61.3±12.8, $P < 0.05$)。多动时间次数(HYP)方面,男童显著高于女童(8.2±5.1 vs 5.6±4.3, $P < 0.01$)。其他指标如速度商数、敏捷商数、谨慎商数等无显著性别差异。上述结果表明,在建立常模时需考虑性别因素,特别是在注意力、一致性和多动次数指标上应提供性别特异性参考值^[2]。

2.3 百分位数常模构建

基于数据分布特征,对于服从正态分布的指标,以均值±1.96倍标准差作为正常参考范围;对于偏态分布指标,以P5-P95百分位数区间作为参考范围。具体正常参考范围详见表1。筛查可疑阈值设定为低于正常范围下限或高于上限,临床显著阈值设定为低于正常范围下限的0.67倍标准差。

表1 IVA-CPT各商数描述性统计结果及正常参考范围
($n = 110$)

商数指标	缩写	均值	标准差	分布形态	正常参考范围
听觉速度商数	MNA	1072.8	98.3	正态	880-1265
视觉速度商数	MNV	832.5	102.7	正态	630-1035
平衡商数	RVAC	77.4	10.2	正态	57-98
听觉敏捷商数	RFRA	80.5	12.3	正态	56-105
视觉敏捷商数	RFRV	82.9	11.8	正态	60-106
听觉注意力商数	FOCA	72.6	9.8	正态	53-92
视觉注意力商数	FOCV	66.3	8.5	正态	49-83
听觉一致性商数	CONA	71.8	11.5	正态	49-95
视觉一致性商数	CONV	64.2	12.3	正态	40-88
听觉谨慎商数	PRA	77.3	10.6	正态	56-98
视觉谨慎商数	PRV	81.7	9.4	正态	63-100
听觉警醒商数	VIA	58.2	20.1	偏态	20-90*
视觉警醒商数	VIV	62.5	19.6	偏态	25-95*
听觉毅力商数	STMA	98.7	11.4	正态	76-121
视觉毅力商数	STMV	103.2	15.6	偏态	75-135*
听觉理解力商数	CMPA	85.3	8.7	正态	68-103
视觉理解力商数	CMPV	77.8	9.9	正态	58-97

注:偏态指标以P5-P95百分位数表示正常范围

3 任务态前额叶脑电数据采集结果与常模

3.1 事件相关电位P300特征

110例儿童视觉oddball任务中,P300主要分布于前额叶和中央区(Fz、F3、F4波幅最大)。前额叶P300波幅 $8.7 \pm 3.2 \mu\text{V}$,潜伏期 $382 \pm 41 \text{ms}$ 。女童波幅显著高于男童(9.8 vs $7.9 \mu\text{V}$, $P < 0.01$)。P300波幅与FOCA($r = 0.42$)、FOCV($r = 0.38$)正相关,与HYP负相关($r = -0.35$),反映注意力资源分配能力。正常参考范围:波

幅 $3.2-14.5 \mu\text{V}$,潜伏期 $310-460 \text{ms}$ (P5-P95)。

3.2 前额叶 θ/β 功率比特征

前额叶 θ/β 比为 1.78 ± 0.52 ,男童显著高于女童(1.94 vs 1.58 , $P < 0.01$)。 θ/β 比与FOCA($r = -0.51$)、FOCV($r = -0.46$)负相关,与HYP正相关($r = 0.44$)。ROC分析显示AUC = 0.82,最佳阈值2.0,敏感度79%,特异度73%。正常参考范围0.9-2.7,高于2.0提示ADHD风险增高^[3]。

3.3 多模态指标相关性分析

P300波幅与FOCA、FOCV、CMPA正相关,与HYP负相关; θ/β 比与FOCA、FOCV、PRA负相关,与HYP正相关。聚类分析归为三个因子:注意维持因子(FOCA、FOCV、P300波幅)、冲动控制因子(PRA、PRV、 θ/β 比)、处理速度因子(MNA、MNV、P300潜伏期),累计解释68.5%变异。IVA-CPT与EEG反映ADHD不同侧面,联合应用可提供互补信息。

4 多模态筛查常模建立与验证

4.1 多模态常模的维度结构

基于主成分分析结果,构建了包含三个维度的多模态筛查常模体系。维度一为注意维持能力,由FOCA(权重0.38)、FOCV(权重0.35)和P300波幅(权重0.27)构成,反映儿童持续集中注意力的能力。维度二为冲动控制能力,由PRA(权重0.32)、PRV(权重0.30)和 θ/β 比(反向计分,权重0.38)构成,反映儿童抑制优势反应的能力。维度三为信息处理效率,由MNA(权重0.40)、MNV(权重0.38)和P300潜伏期(反向计分,权重0.22)构成^[4]。各维度正常参考范围为标准分40-60,低于40提示能力不足。综合评估时计算三个维度的加权总分,权重分别为0.45、0.35、0.20,综合得分低于40分提示总体注意功能异常。

4.2 常模的信效度检验

采用内部一致性信度和分半信度进行信度检验。注意维持维度的Cronbach's α 系数为0.82,冲动控制维度为0.79,信息处理效率维度为0.76,综合得分为0.85,均大于0.70的可接受标准。效度检验方面,以临床诊断为金标准,采用ROC曲线分析评估常模的筛查效度。综合得分鉴别ADHD的曲线下面积为0.87(95%CI: 0.81-0.93),以40分为筛查阈值,敏感度为85.2%,特异度为78.6%。与单一IVA-CPT(AUC = 0.79)或单一EEG(AUC = 0.78)相比,多模态常模的AUC显著提高($P < 0.05$)。

4.3 常模的应用建议

本研究所建立的6岁儿童ADHD多模态筛查常模适用于以下场景:小学入学前健康体检中的ADHD风险筛查、

临床辅助诊断、干预效果评估。使用本常模时需注意：测试环境应保持安静；被试需精神状态良好；测评师需经过标准化培训；解释结果时需结合临床访谈和日常行为观察^[5]。常模的更新频率建议为每3-5年一次。对于得分在临界范围（37-43分）的儿童，建议1-3个月后复测。

结束语

本研究基于IVA-CPT与任务态前额叶EEG多模态数据，系统采集了110例6岁儿童的17项行为学与电生理指标，建立了包含注意维持、冲动控制、信息处理效率三个维度的筛查常模。IVA-CPT结果显示，听觉注意力商数、视觉注意力商数及多动时间次数具有良好鉴别效度；EEG结果显示，前额叶P300波幅和 θ/β 功率比与注意功能显著相关。多模态综合常模的筛查准确率显著优于单一模态。本常模为6岁儿童ADHD早期筛查提供了客观量化工具，未来需扩大样本量，开展纵向随访研究，验证常模的预测效度。

参考文献

- [1]李宽. 揭秘儿童注意缺陷多动障碍[J]. 家庭科学,2026(3):150-151.
- [2]张玲,刘寰忠. 儿童注意缺陷多动障碍遗传学研究进展[J]. 中国实用儿科杂志,2023,38(8):580-584.
- [3]李伟玉,魏舒. 儿童注意缺陷多动障碍医学化的历史展演[J]. 医学与哲学,2025,46(3):12-16.
- [4]赵久红,杨晓慧,马娟娟. 甘肃省平凉市3 200名6~11岁儿童注意缺陷多动障碍患病率调查分析[J]. 中国妇幼卫生杂志,2025,16(2):156-160.
- [5]陈燕惠,卢龙杰,林晓霞. 福建省6~12岁儿童注意缺陷多动障碍患病率调查[J]. 福建医科大学学报,2021,55(5):451-457.
- [6]张樊,任霞,赵银春,等. 基于社区和区妇幼保健院的儿童脑发育障碍疾病的早期筛查及跟踪随访现状的研究[J]. 北京医学,2021,43(11):1055-1059.